

## 豪雪地のスギ林における斜面雪圧の推定と軽減（Ⅲ） —根系支持力—

塚原 初男・大谷 博彌\*  
(山形大学農学部附属演習林・\*農学部森林資源学講座)  
(平成4年9月1日受理)

### Estimation and Reduction of Snow Pressure on the Steep Stands of *Cryptomeria* in Heavy Snow District (Ⅲ) —Root Power—

Hatsuo TSUKAHARA and Hiroya OHTANI\*  
University Forest, \*Section of Forest Resources, Faculty of Agriculture,  
Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan  
(Received September 1, 1992)

#### Summary

To find out the resistant parameter of standing *Cryptomeria* trees to snow pressure on steep stands in an heavy snow district, the relationship between three kinds of root powers and other various tree characteristics were analyzed by the correlation analysis method. The power of the stump going in the direction of a downward slope ( $P$ , ton), had a positive significance on various parameters of tree growth; stem length, stem height, clear length, diameter of stem base, diameter at breast height, maximum crown diameter, dry weight of rooted stem, underground system, stem, branches, needles, upper-ground systems, the whole tree, volume of underground system, and the diameter at breast height and tree height ratio ( $D/H$ , cm/cm). The power of root swelling ( $P_R = P/L_0$ , ton/m) was exhibited by  $P$  divided into the length from the point of action, about 0.3 m above the ground, to the point of fulcrum with  $L_0$  (m) running through the tree's trunk had positive significance between clear length, and had negative significance between stem butt crookedness, the largest and the smallest diameter of the crown, and the angle of the upper slope from standing trees. Moment of root swelling ( $M_R = P \cdot L_0$ , ton·m) had positive significance between stem butt crookedness, the maximum diameter of the crown, dry weight of rooted stem, the underground system, branches, volume of underground system, and the  $D/H$  ratio.  $M_R$  was a better parameter for the root power than  $P$  and  $P_R$ .

#### I は し が き

豪雪地における実生スギ<sup>1,3,6,7)</sup>やブナ<sup>8)</sup>立木の雪圧に対する抵抗力を表す計測項目には、斜面に平行方向の根株引抜抵抗力があり、これが根元直径との間に密接な乗乗関係のあることはすでに見出されている<sup>4,11)</sup>。斜面に平行方向の力は、林木に対する冬季の雪圧の作用方向に

ほぼ一致しているからである<sup>2)</sup>。この根株引抜抵抗力は、スギの地下部全体の雪圧抵抗力を表す根系支持力 (Root power) そのものではなく、それに代わる1つの近似値として扱われて来た<sup>12)</sup>。しかし、根株引抜抵抗力は、その作用点については地上約30 cm位置の幹に統一されているものの<sup>6)</sup>、地面から地下部の支持根発生位置付近の支点までの距離については供試木個体差によるバラ

ツキがあつて<sup>3)</sup>、これを正確に揃えることは困難であるばかりでなく、根系支持力の近似値としての妥当性についても検討が不十分であるなど幾つか問題点が残されていた。

そこで今回は、幼齡実生スギの根株引抜抵抗力のほか、根張り強度<sup>10)</sup>、根張りモーメント<sup>12)</sup>を新しい計測項目として追加し、樹高・直径・重量などの成長量や、幹・根元・樹冠などの形状との関係について相関解析し、考察した。

本研究をすすめるにあたり、山形大学農学部造林学講座からは多大なご支援を、同講座の卒論研究として取り組んだ奥泉久人博士（現筑波大学・日本学術振興会特別研究員）<sup>3)</sup>、同講座の院生<sup>1,5)</sup>と学生諸君、及び附属演習林の職員からは多大なご協力を、山形県林業試験場育種部（旧山形県林木育種場）ならびに林木育種センター東北育種場奥羽事業場（旧東北林木育種場奥羽支場）からは多大なご高配を受けた。ここに記して深謝申し上げる次第である。

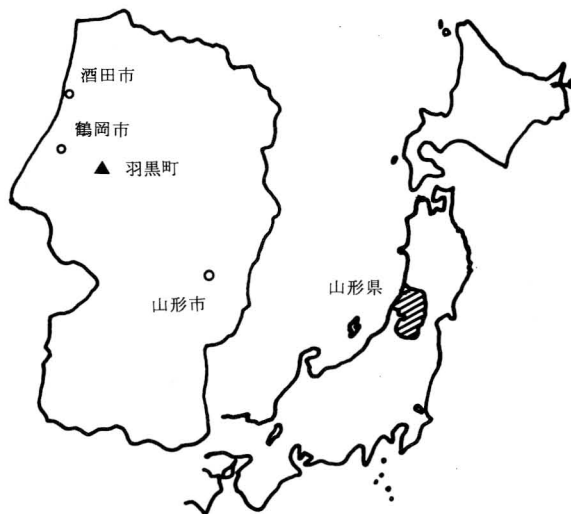
なお、本研究の一部は、日本林学会大会発表論文集、日本林学会東北支部会誌、日本自然災害学会講演要旨集などに発表した。

## Ⅱ 材料と方法

本研究は、多雪緩～急傾斜地のスギ人工林より抽出された立木について実施した。

供試木は、山形県羽黒町大字手向に所在する山形県林業試験場育種部（旧山形県林木育種場）構内のスギ耐雪性試験林の実生スギ及び挿し木スギの一部である（図—1）。試験林の標高は180 m、斜面方位は東向き、斜面傾斜角は10～40度、土壌はB<sub>p</sub>型、土性は堆積壤土、土壌の深さは中庸である。気象条件は、年平均気温12℃、年降水量2,400 mm、日照時間1,780時間、日最高気温31℃、日最低気温-4.6℃、年最深積雪1.7±0.7 mであり、冷温帯多雪地である。

1985年秋の調査時における林齢は、クローンまたは実生母樹によって異なり、1970年秋植えの15年生から、1971年秋植えの14年生、及び1973年秋植えの12年生まで幅がある。試験林の植栽密度は3,500本/ha、下刈は5年生時まで年2回、その後10年生時まで年1回、雪起こしは傾幹の大きい一部の個体に実施され、枝打ちは1980年に樹高の約1/3以下まで実施され、除伐は1982年に雪害木を対象として実施された。間伐は1985年秋に予定され、その予定木が本研究の根系支持力の測定に当てられ



図—1 調査地の位置(▲印)

た。測定個体数は、12～15年生挿し木スギ12クローン23本、15年生実生スギ3母樹7本、計30本である。

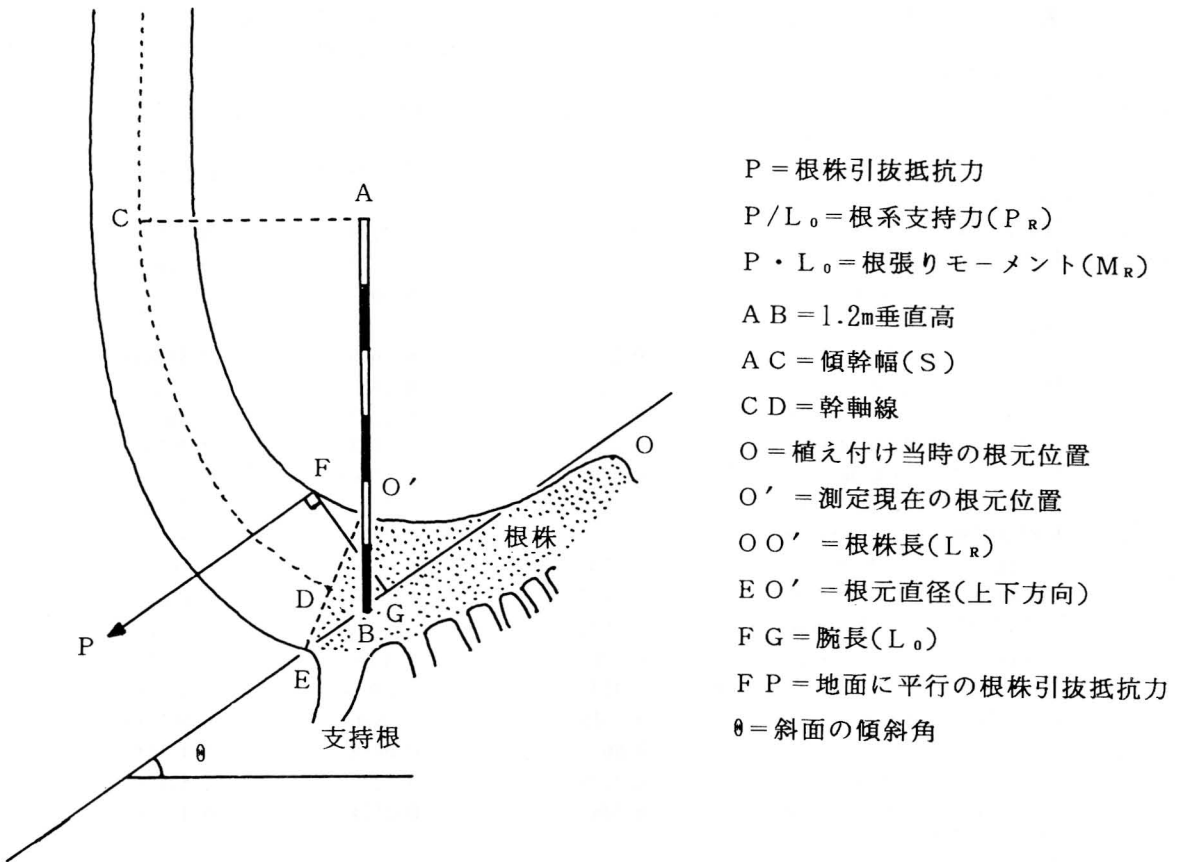
根系支持力には、先の報告の根株引抜抵抗力 ( $P$ , ton)<sup>10)</sup>のほか、根張り強度 ( $P_R$ , ton/m)<sup>10)</sup>、根張りモーメント ( $M_R$ , ton·m)<sup>12)</sup>の3種の計測項目を取り上げた（図—2）。

$P$ は、幹の地際から約30 cmほど上部にワイヤロープを巻き付けて、冬季の雪圧の作用方向と同じ斜面の下部方向になるべく斜面と平行させながら引き抜いた時の最大抵抗力の値である（図—2）。

$P_R$ は、引き抜き時のワイヤロープ位置の作用点から支持根の発生付近の支点までの距離 ( $L_0$ , m) を分母、 $P$ を分子として計算された値 ( $P_R = P/L_0$ , ton/m) である（図—2）。

$M_R$ は、斜面に平行に引き抜かれた根株引抜抵抗力 ( $P$ , ton) に、 $P$ の作用点から支持根付近の支点までの距離 ( $L_0$ , m) を乗じた値 ( $M_R = P \cdot L_0$ , ton·m) である。

成長量には、幹長 ( $L$ , m)、樹高 ( $H$ , m)、枝下長 ( $L_B$ , m)、根元直径 ( $D_0$ , cm)、胸高直径 ( $D$ , cm)、樹冠最大直径 ( $D_C$ , m)、根株重 ( $W_K$ , kg)、根重 ( $W_R$ , kg)、地下部重 ( $W_U = W_K + W_R$ , kg)、幹重 ( $W_S$ , kg)、枝重 ( $W_B$ , kg)、葉重 ( $W_L$ , kg)、地上部重 ( $W_T = W_S + W_B + W_L$ , kg)、全重 ( $W = W_T + W_U$ , kg) が測定された。また、根系の立体的な発達を示す要因として引き抜き直後に地面にできる穴容積 ( $V_R$ , m<sup>3</sup>) が測定された。



図—2 根系支持をあらわす3種の計測項目の測定法

幹の形状としては形状比の逆数にあたる幹肥大度 ( $D/H$ , cm/cm), 根元の形状としては根元曲がりを表す傾幹幅 ( $S$ , cm), 根株長 ( $L_R$ , cm), 根元曲がり水平長 ( $S_R$ , cm), 樹冠の形状としては樹冠梢頭部の緑軸長 ( $L_G$ , cm), その枝数 ( $N_B$ , 本/m), その平均傾枝幅 ( $S_B$ , cm), 樹冠梢頭部の長径 ( $D_{LC}$ , m) と短径 ( $D_{SC}$ , m), 個体全体の形状としては地下部と地上部の重量比 (RT 率, root-shoot ratio,  $W_U/W_T$ , kg/kg) が同時に測定された。

根系支持力を表す3種の近似値,  $P$ ,  $P_R$ ,  $M_R$ の妥当性については, 上述の各測定項目と斜面雪圧に関係する上方傾斜角 ( $\theta$ , 度)<sup>4,7)</sup> など26項目との間の相関解析によって考察した。

### Ⅲ 結果と考察

幼齡実生スギ及び挿し木スギ30本の  $P$ ,  $P_R$ ,  $M_R$ の相互関係のなかで,  $P$ と $M_R$ の間には著しく有意な正相関

( $r=0.7676^{**}$ ) が,  $P$ と $P_R$ の間には有意な正相関 ( $r=0.3680^*$ ) があったが,  $P_R$ と $M_R$ との関係 ( $-0.1890$ ) は有意ではなかった。12～15年生実生・さし木スギの根株引抜抵抗力と根張りモーメントとの関係は一方より他方を推定可能なほど密接であるが, 根株引抜抵抗力と根張り強度との関係はそれほど密接ではなく, 根張り強度と根張りモーメントとは無関係のようである。

$P$  は,  $L$ ,  $L_B$ ,  $W_S$ との間に著しく有意な正相関,  $H$ ,  $D_0$ ,  $D$ ,  $D_C$ ,  $W_K$ ,  $W_U$ ,  $W_B$ ,  $W_L$ ,  $W_T$ ,  $W$  など  $W_R$ を除く13もの成長量を表す計測項目と, 幹の形状を表す  $D/H$  との間に有意な正相関があった(表—1)。根株引抜抵抗力は, 幹長, 枝下長, 幹重との関係が著しく密接であり, 幹の肥大度を含む根重以外の多くの成長量を表す計測項目との関係が密接であり, それらの増大と共に強化される特性を備えているようであった。本研究における根重は, 根株と共に地上に引抜かれてきた太い根の

表-1 多雪地における12～15年生スギの根張りモーメント、根張り強度、根株引抜抵抗力和、根元曲がり、成長量、外部形態、上方傾斜角との間の単相関係数

計測項目	根張りモーメント $M_R$	根張り強度 $P_R$	根株引抜抵抗 力 $P$
(平均値±標準偏差)	(0.71±0.46ton・m)	(10.47±5.38ton/m)	(2.49±0.91ton)
〔根元曲がり〕			
傾幹幅, $S$ (37±30cm)	0.3911*	-0.4294*	0.0192
根株長, $L_R$ (31±18cm)	0.3000	-0.2973	0.0261
水平長, $S_R$ (66±43cm)	0.3782*	-0.3967*	0.0262
〔地上部の発達〕			
幹長, $L$ (6.2±2.1m)	0.2913	0.2615	0.4834**
樹高, $H$ (6.0±2.2m)	0.2268	0.2836	0.4439*
根元直径, $D_o$ (14.6±5.2cm)	0.2755	0.2112	0.4320*
胸高直径, $D$ (9.8±4.4cm)	0.2759	0.2727	0.4613*
枝下長, $L_R$ (1.5±0.5m)	0.3228	0.3780*	0.5231**
樹冠最大直径, $C_w$ (2.2±0.6m)	0.5040**	-0.1125	0.3839*
梢頭部緑軸長, $L_c$ (67±19cm)	0.0807	0.0089	0.1195
同枝数, $N_R$ (19±5本/m)	0.0702	0.2062	0.1633
同平均傾枝幅, $S_R$ (16±4cm)	0.1647	-0.1353	-0.0582
同樹冠長径, $D_{LC}$ (88±25cm)	0.0635	-0.4148*	-0.2370
同樹冠短径, $D_{SC}$ (68±16cm)	-0.0265	-0.3598*	-0.2637
幹の肥大度, $D/H$ (1.63±0.38cm/m)	0.4134*	0.2393	0.4134*
幹重, $W_s$ (13.4±9.9kg)	0.3518	0.1826	0.5012**
枝重, $W_B$ (1.9±1.7kg)	0.3621*	0.0010	0.4113*
葉重, $W_L$ (6.1±4.6kg)	0.3209	0.1223	0.4333*
地上部重, $W_T$ (21.0±15.4kg)	0.3383	0.1114	0.4371*
〔地下部の発達〕			
根株重, $W_K$ (3.4±2.4kg)	0.3660*	0.1239	0.4979**
根重, $W_R$ (2.5±2.2kg)	0.3429	-0.0338	0.3456
地下部重, $W_U$ (5.9±4.3kg)	0.3817*	0.0540	0.4585*
穴容積, $V_R$ (0.43±0.23m <sup>3</sup> )	0.4835**	0.0307	0.4312*
地下部/地上部重比, $W_U/W_T$ (0.31±0.10kg/kg)	-0.1074	-0.1700	-0.1364
〔全体の発達〕			
全重, $W$ (26.9±19.5kg)	0.3515	0.1001	0.4466*
〔地形〕			
上方傾斜角, $\theta$ (25±9度)	0.0218	-0.4310*	-0.2646

\*\* 1%水準、\* 5%水準の有意記号

根系重量であり、切断されて地下に残された細い根の根系重量は除外されている。これらのことから、根株引抜抵抗力は、林木の各部分的及び全体的成長量と部分的形状や重量など地上部および地下部を含む個体全体の発達との関係が深く、根系支持力との関係がとくに深いとはいえないことが明らかにされた。

$P_R$ は、 $L_B$ との間に有意な正相関があり、下枝の枯れ上がりまたは人為的な幼齢期の枝打ち強度との関係が現

れやすい傾向があるほか、 $S$ 、 $S_R$ 、 $D_{LC}$ 、 $D_{SC}$ などの幹や樹冠の形状や、立木位置上方の地形傾斜角との間に有意な負の相関があった（表-1）。根張り強度は、幹の倒れにくさ、樹冠梢頭部の過大発達のしにくさ、下枝の枯れ上がり易さを示す内容と関係が深く、傾斜角が小さく上方からの雪圧の小さい斜面ほど強大化の傾向があるようである。幹の倒れにくさは根系支持力との関係が深い。

$M_R$ は、次の7項目との間に有意な正相関があった。

それを単相関係数の高い順から示すと  $D_C > V_R > S > W_U > S_R > W_K > W_B$  である(表-1)。根張りモーメントは、樹冠最大直径(図-3)、穴容積(図-4)、傾幹幅、根元曲がり水平長の大きいほど高く、地下部重(図-5)、根株重(図-6)、枝重の大きいほど高い傾向がある。これらにより、枝重を含む樹冠と、根圏容積や根株

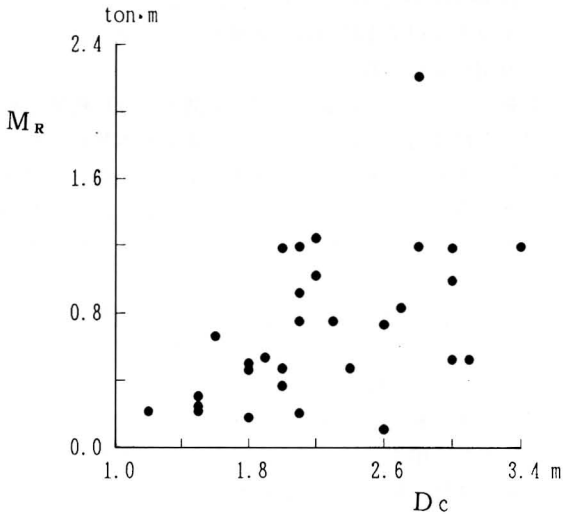


図-3 根張りモーメント( $M_R$ )と最大樹冠直径( $D_C$ )との関係

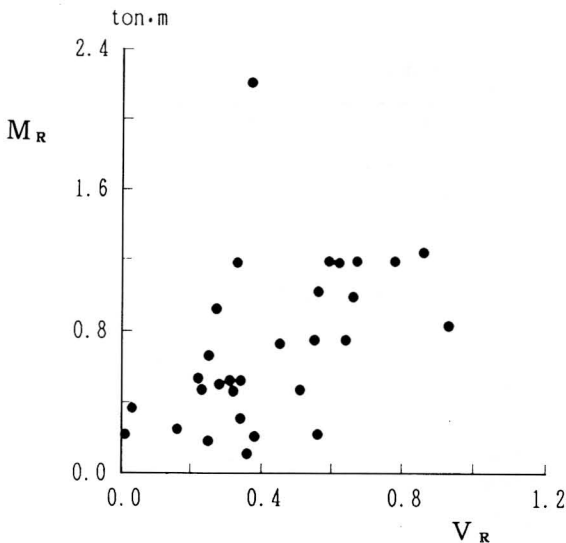


図-4 根張りモーメント( $M_R$ )と穴容積( $V_R$ )との関係

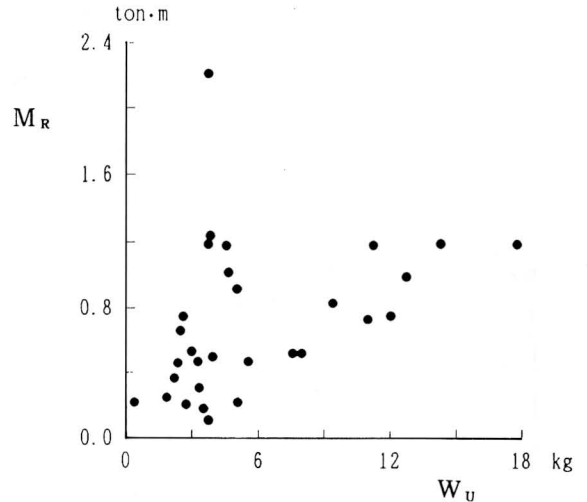


図-5 根張りモーメント( $M_R$ )と地下部重( $W_U$ )との関係

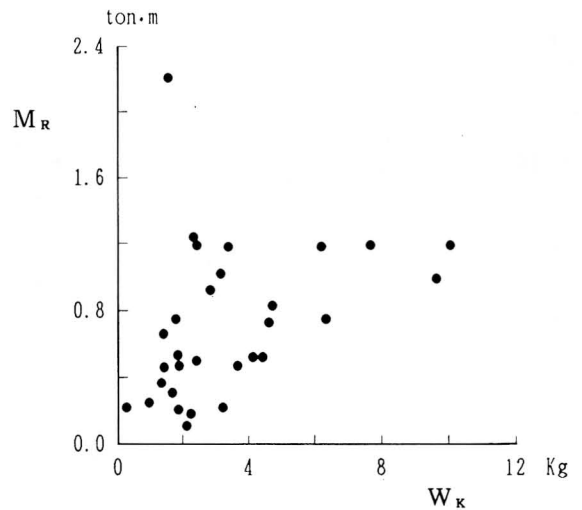
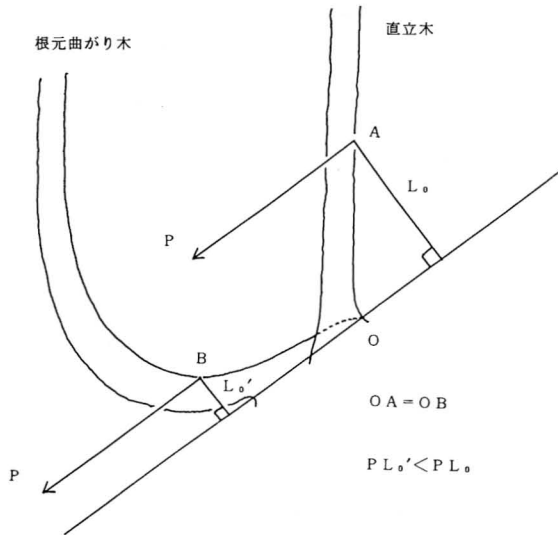


図-6 根張りモーメント( $M_R$ )と根株重( $W_K$ )との関係

重を含む地下部を十分に発達させて、しっかりと地面に固定されたスギは、根張りモーメントの高いことがうかがわれる。傾幹幅や水平長の拡大は、根曲り材が増えるために林業生産の面からはマイナスであるが、根張りモーメントを高めて斜面雪圧に対する抵抗力をつけるた

めの1種の適応形態でもありと言えよう。地面から一定の距離の地上部に作用するときの立木の支持根付近のモーメントは、理論的には直立木が最大となり、傾幹幅の大きいほど小さくなる(図—7)。根張りモーメントは、立木の根系支持力を表す内容との関係が深いようである。



図—7 直立木と根元曲がり木のモーメント比較

スギの根張りモーメントは、根系の水平方向への発達との関係が密接とされる樹冠直径、地下部重、根を引き抜かれた後にできる穴の容積など、いずれも根の発達を表す項目との関係が密接であり、根張り強度は樹冠の発達や下枝の枯れ上がり、根元曲がりとの関係、根株引抜抵抗力は根系の発達ばかりでなく林木の成長や繁茂などとの関係が密接であり焦点が定まらなかった。根張りモーメントは根系支持力の近似値として3項目の中では最も有用のようである。

根張りモーメントによるクローン間または母樹間比較では、今回は同一クローン当たりの供試木本数が少なく断定的な考察は出来ないが、立木の受圧面の幅として何を基準に置くかによって導かれてくる結論にはくいちがいが起こる。その具体例について、若干の考察をしておきたい。

いま、単相関係数値の最も高い樹冠最大直径 ( $C_w$ ) と、ワイヤロープの位置に近い根元直径 ( $D_0$ ) を基準に置いて比較し、大きい順からならべてみると表—2を得る。

精英樹を母樹とする実生スギや山内スギ(クローン)、西村山2号、田川2号、最上2号などは、どちらかといえば最上4号、最上1号、東南置賜1号などよりも同一基準の根張りモーメントの値が高く、根系支持力が大きいものと推測できるようであった。

なお、山形県13号は、根元曲がり小さく、スギの耐雪性品種の1つとして山形県14号などと共に有望視さ

表—2 樹冠最大直径と根元直径を基準に置く根張りモーメント

クローン・母樹	( $M_R/C_w$ , ton)	クローン・母樹	( $M_R/D_0$ , ton)
西村山2号	(0.66)	山内スギ(クローン)	(12.71)
実生スギ(母樹-1)	(0.57)	実生スギ(母樹-2)	(10.73)
山内スギ(クローン)	(0.57)	実生スギ(母樹-1)	(6.44)
実生スギ(母樹-2)	(0.38)	最上2号	(5.14)
田川2号	(0.37)	田川2号	(5.07)
最上2号	(0.31)	西村山2号	(4.76)
東南置賜6号	(0.30)	実生スギ(地スギ)	(4.61)
佐渡1号	(0.30)	西置賜2号	(4.40)
東南置賜4号	(0.26)	佐渡1号	(3.90)
実生スギ(地スギ)	(0.23)	東南置賜4号	(3.82)
西置賜2号	(0.22)	東南置賜6号	(3.53)
東南置賜1号	(0.20)	東南置賜1号	(3.46)
最上1号	(0.18)	最上1号	(2.34)
最上4号	(0.11)	山形県13号	(1.67)
山形県13号	(0.10)	最上4号	(1.56)

れ、注目されているクローンである。このクローンの  $M_R$  は、基準として  $C_W$  と  $D_0$  のいずれを用いた場合でも小さい値に終始した(表—2)。このクローンの今回の供試木(サンプル)は、9本の植栽木の中から間伐木と

して選ばれた個体である。この個体をよく調べてみると、根株長が他の個体よりも著しく大きく、そのうえ樹高、胸高直径共に他の個体よりも著しく小さいことが確認された(図—8)。その原因としては、引き抜かれた跡地の穴容積や土壌の浅いことから、今回の供試木は局所的な立地条件にたまたま植栽された軽度の雪害木と判断された。したがって、通常の山形県13号クローンの根張りモーメントは、今回の位置よりもかなり上位にあるものと推測される。根張りモーメントは、スギの雪圧抵抗性クローンの検定にも有効である可能性が大きい。

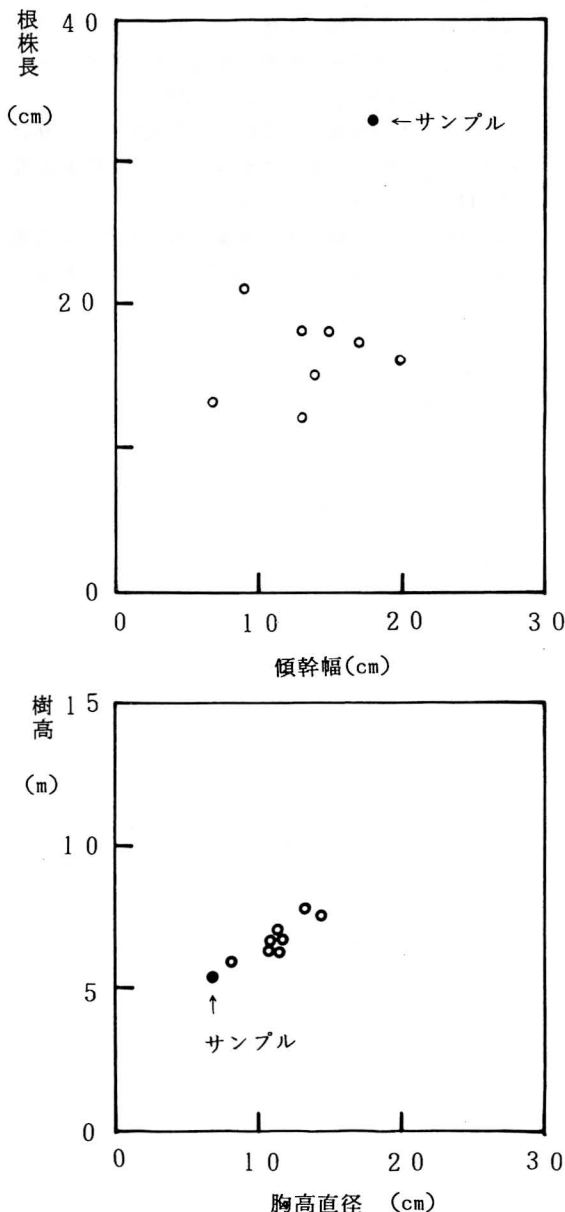
筆者ほかは、地上約0.3mの位置にワイヤロープを掛けて引き抜いたときのスギの根株引抜抵抗力と根元直径との間に、密接な乗乗関係の成り立つことを明らかにし<sup>11)</sup>、最深積雪が約2.8m、地形傾斜角が約33度、全層雪密度の最大値が約0.56 ton/m<sup>3</sup>のときの Haefeli 式<sup>2)</sup>による斜面雪圧約5 ton にスギが抵抗してゆくためには、少なくとも根元直径で約20 cm以上の大きさに成長することが必要であることを強調している<sup>9)</sup>。この当時の調査には、ワイヤロープの作用点から支持根付近の支点までの距離は計測されていない。そのため、地表面から支持根までの距離を最も標準的な0.4~0.5 mとおくと、斜面雪圧約5 ton に抵抗できるスギの根張りモーメントは、5 ton×0.7~0.8 m=3.5~4.0 ton・m となり、約3.5~4.0 ton・m 以上と推定されることになる。実生スギが、それぞれの斜面雪圧に抵抗力を持つまでには、雪圧の大きいほどより長い年月を要することになるが、根張りモーメントはその目安としても活用出来よう。

#### Ⅳ お わ り に

今回の相関解析により、スギの根系発達に関係が深く、立木の雪圧抵抗性を表す計測項目は、3種のなかでは根張りモーメントが最適であることが明らかにされた。また、この根張りモーメントを、スギの雪圧抵抗性クローンの検定に用いる場合には、今後、1クローンあたりの調査本数を増やすと共に、樹間距離<sup>5)</sup>など最も妥当な雪の受圧面を考慮し、さらに検討を重ねる必要があろう。

#### 引 用 文 献

- 1) 今井英策・塚原初男・大谷博彌・遠藤文子：スギの根元曲がりと根株引抜抵抗力による斜面雪圧の推定(Ⅱ) 日林東北支誌 32, 171~173, 1980
- 2) 日本建設機械化協会：新防雪工学ハンドブック、森北出版、1~58, 1977



図—8 山形県13号クローンの今回の供試木の根元曲がりと成長

- 3) 奥泉久人：豪雪地スギさし木品種の形態的・力学的特徴，山形大農卒論，1986
- 4) 大谷博彌・塚原初男・須藤昭二：豪雪地のスギ林における斜面雪圧の推定と軽減（Ⅱ）山形大紀要（農）11（2），285～290，1991
- 5) 高橋芳明・塚原初男：林木の積算雪圧に関する研究—受圧影響圏面積— 94回日林論，713～714，1983
- 6) 塚原初男・遠藤治郎・大谷博彌・須藤昭二：豪雪急傾斜地におけるスギ根株の形状と引抜抵抗力との関係，日林東北支誌 27，70～72，1975
- 7) TSUKAHARA, Hatsuo and OHTANI, Hiroya : Mechanism of occurrence of snow damages to forestation trees in north-east Japan, Voluntary paper, 17th IUFRO World Congress, Kyoto, Sept. 1981
- 8) 塚原初男・大谷博彌・菱沼政雄・小山浩之：ブナの根株引抜抵抗力 98回日林論，335～336，1987
- 9) 塚原初男・大谷博彌・須藤昭二：豪雪急斜地における実生スギ造林木の根元曲り 山形農林報 32，21～30，1975
- 10) 塚原初男・大谷博彌・須藤昭二・奥泉久人：多雪地におけるさし木スギの根張り強度と根元曲がりとの関係 100回日林論，261～262，1989
- 11) 塚原初男・大谷博彌・須藤昭二：豪雪地のスギ林における斜面雪圧の推定と軽減（Ⅰ）山形大紀要（農）11（1），219～234，1990
- 12) 塚原初男・山谷 睦・大谷博彌・奥泉久人：多雪地におけるさし木スギの根系支持力 103回日林論，301～302，1992